

Transiente Ultraschallfelder an Festkörperoberflächen - Wellenphysikalische Grundlagen einer neuen Ultraschall- Nahfeldmikroskopie

Frank SCHUBERT*, Martin BARTH*, Bernd KÖHLER*

* Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren, Institutsteil Dresden IZFP-D,
Maria-Reiche-Straße 2, 01109 Dresden,
Frank.Schubert@izfp-d.fraunhofer.de

Kurzfassung

Die üblicherweise für hochfrequente Ultraschalluntersuchungen eingesetzte Scanning Acoustic Microscopy (SAM) arbeitet als Immersionstechnik üblicherweise im Fernfeld der verwendeten Ultraschallwandler und ist somit beugungsbegrenzt, d.h. es können keine Auflösungen erzielt werden, die wesentlich kleiner als die halbe Wellenlänge des Ultraschalls im Immersionsmedium sind. Diese grundsätzliche physikalische Beugungsgrenze lässt sich nur durch die Verwendung von Nahfeldmethoden wie z.B. der AFAM-Technik durchbrechen, die das Prinzip der Rasterkraftmikroskopie mit einer akustischen Anregung der Probe kombiniert. Im vorliegenden Beitrag werden die wellenphysikalischen Grundlagen einer neuen, rein akustischen Nahfeldmikroskopie auf der Basis streifender Ultraschallwellen, die mittels kontaktloser Laservibrometrie detektiert werden, vorgestellt. Die erreichbare laterale Auflösung dieser Grazing Incidence Ultrasound Microscopy (GIUM) wird dabei lediglich vom Laserstrahldurchmesser sowie dem verwendeten Scanpunktabstand begrenzt und ist derzeit bis zu zwei Größenordnungen höher als bei einem Ultraschallmikroskop mit der gleichen Prüffrequenz. Mit Hilfe der numerischen EFIT-Methode werden verschiedene transiente, auf Festkörperoberflächen einfallende Wellenfelder sowie deren Wechselwirkung mit an oder knapp unterhalb der Oberfläche liegenden Materialheterogenitäten untersucht. Es wird gezeigt, wie es bei der Wechselwirkung mit Streuern, die klein gegenüber der Wellenlänge sind, dennoch zu charakteristischen Auslenkungen der Oberfläche kommt, die mit dem Laservibrometer gemessen werden können. Es wird demonstriert, wie aus den detektierten Zeitsignalen eine hochauflösende Abbildung der Mikrostruktur des Bauteils gewonnen werden kann. Weiterhin werden mögliche zukünftige Erweiterungen der Methode diskutiert, wie eine orts aufgelöste Darstellung elastischer Materialparameter.

2. Kurze Zusammenfassung GIUM (Grazing Incidence Ultrasound Microscopy)

Bildgebungsmechanismus ?

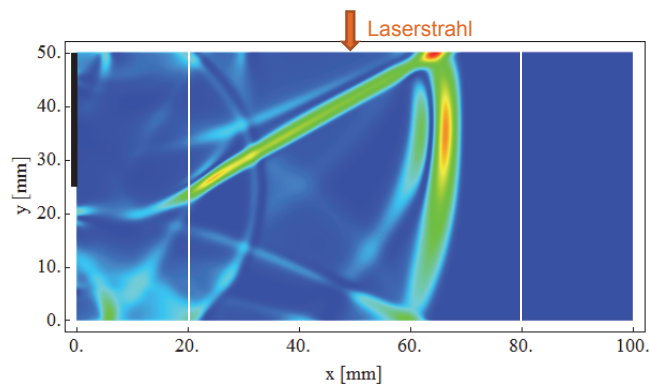


5/19

3. Numerische Modellierung transienter US-Felder an Festkörperoberflächen

Freie Oberfläche ohne Heterogenitäten (2D-EFIT-Modell)

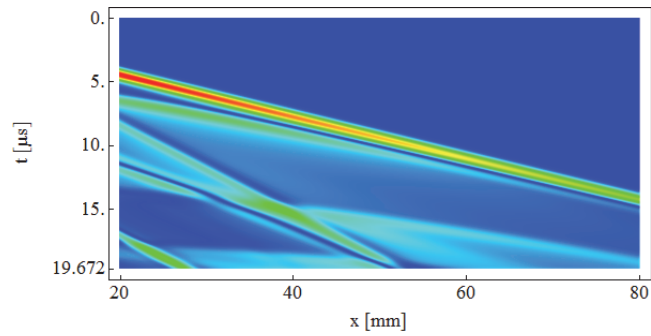
Titan
 $f < 1$ MHz,
 $\lambda_p > 6$ mm



6/19

3. Numerische Modellierung transienter US-Felder an Festkörperoberflächen

Freie Oberfläche ohne Heterogenitäten (2D-EFIT-Modell)



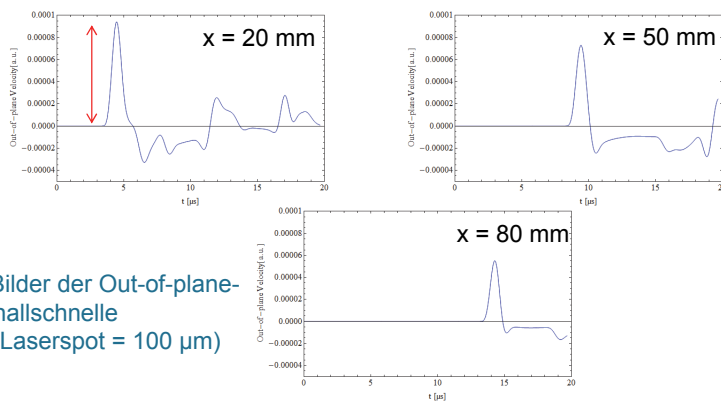
B-Bild des Betrags der Out-of-plane-Schallschnelle



7/19

3. Numerische Modellierung transienter US-Felder an Festkörperoberflächen

Freie Oberfläche ohne Heterogenitäten (2D-EFIT-Modell)



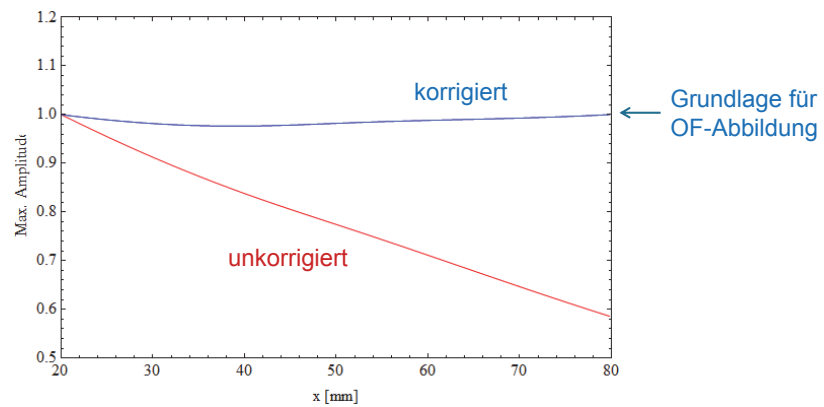
A-Bilder der Out-of-plane-Schallschnelle
(\varnothing Laserspot = $100 \mu\text{m}$)



8/19

3. Numerische Modellierung transienter US-Felder an Festkörperoberflächen

Freie Oberfläche ohne Heterogenitäten (2D-EFIT-Modell)

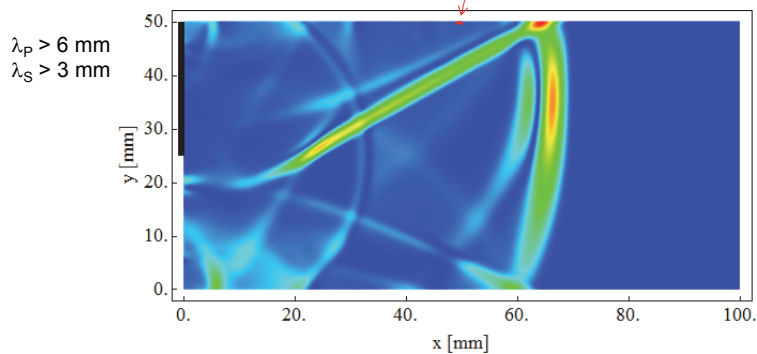


9/19

Fraunhofer
IZFP

3. Numerische Modellierung transienter US-Felder an Festkörperoberflächen

Freie Oberfläche mit steifem Einzelkorn ($600 \times 300 \mu\text{m}^2$)

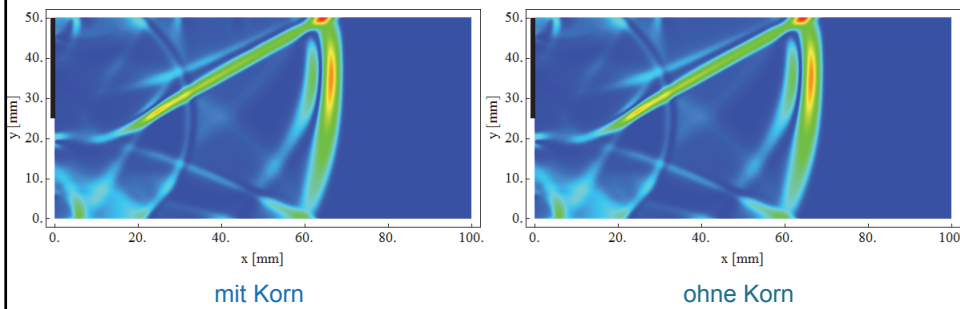


10/19

Fraunhofer
IZFP

3. Numerische Modellierung transienter US-Felder an Festkörperoberflächen

Freie Oberfläche mit steifem Einzelkorn ($600 \times 300 \mu\text{m}^2$)

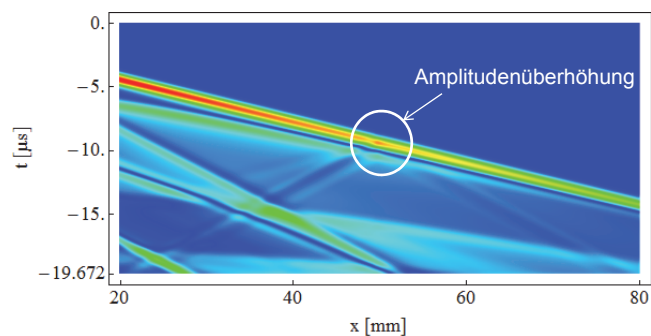


Korn als Volumenstreuer vernachlässigbar!



3. Numerische Modellierung transienter US-Felder an Festkörperoberflächen

Freie Oberfläche mit steifem Einzelkorn ($600 \times 300 \mu\text{m}^2$)

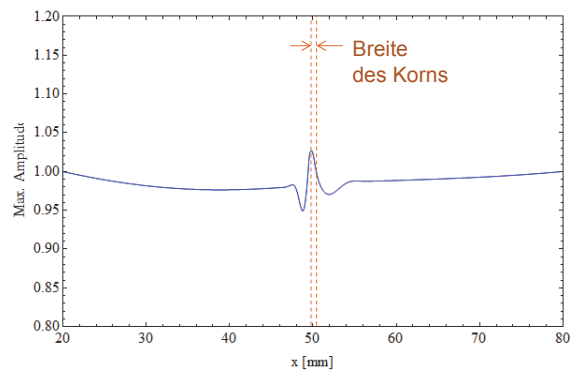


B-Bild des Betrags der Out-of-plane-Schallschnelle



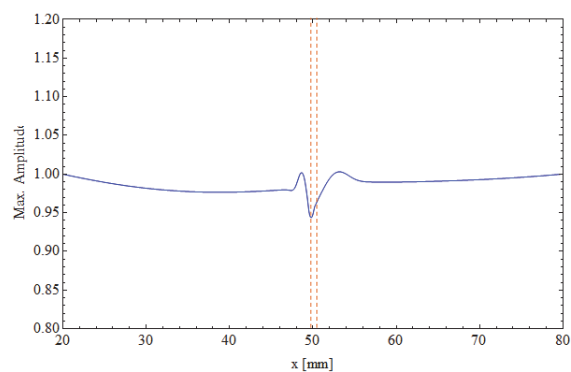
3. Numerische Modellierung transienter US-Felder an Festkörperoberflächen

Freie Oberfläche mit **steifem** Einzelkorn ($600 \times 300 \mu\text{m}^2$)



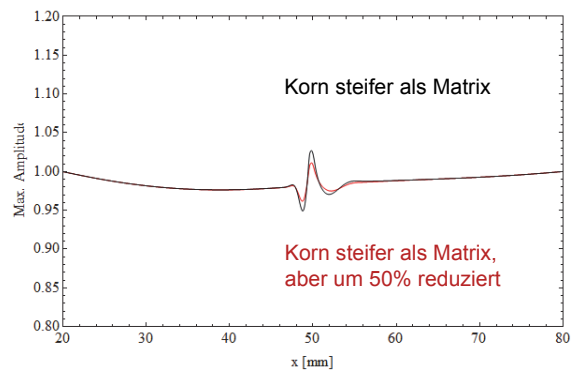
3. Numerische Modellierung transienter US-Felder an Festkörperoberflächen

Freie Oberfläche mit **weichem** Einzelkorn ($600 \times 300 \mu\text{m}^2$)



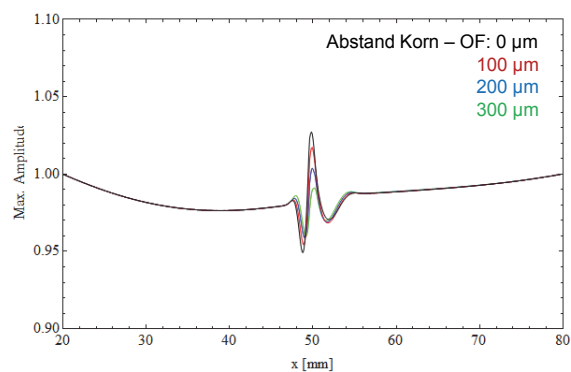
3. Numerische Modellierung transienter US-Felder an Festkörperoberflächen

Freie Oberfläche mit steifem Einzelkorn ($600 \times 300 \mu\text{m}^2$)



3. Numerische Modellierung transienter US-Felder an Festkörperoberflächen

Freie Oberfläche mit steifem Einzelkorn ($600 \times 300 \mu\text{m}^2$)



Zusammenfassung

- Das streifende Wellenfeld an der freien Oberfläche ist durch die Überlagerung von P-Welle und modekonvertierter S-Welle geprägt
- Kleine Streuer, deren Volumenstreuung vernachlässigbar ist, führen an der Oberfläche dennoch zu deutlich messbaren Effekten
- Der Ort des Maximums/Minimums der max. Schallschnelle stimmt mit der linken Begrenzung des Kornes überein
- Die Wechselwirkung mit dem Korn beeinträchtigt auch benachbarte Sensorpositionen
- Im Vergleich zur Matrix steifere bzw. weichere Körner sind bzgl. der max. Schallschnelle durch eine entgegengesetzte Polarität gekennzeichnet
- Die effektive Steife der Körner korreliert mit der max. Schallschnelle
- Die max. Schallschnelle nimmt mit wachsendem Abstand des Kornes zur Oberfläche ab (linear im vorliegenden 2D-Modell)



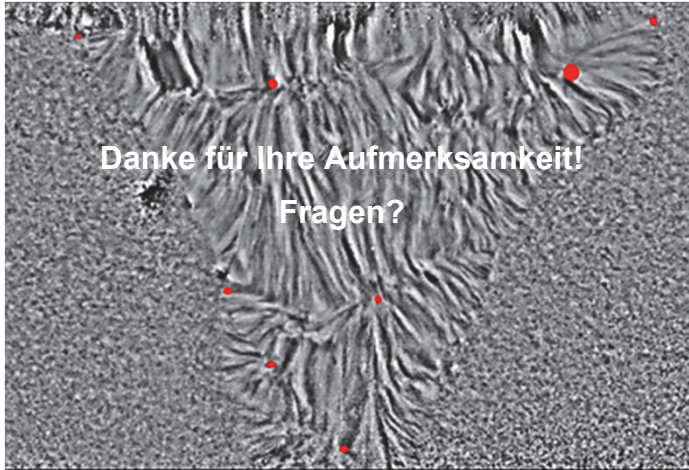
17/19

Ausblick

- Erweiterung des Modells (Wechselwirkung mehrerer Körner, Polykristallines Gefüge, Anisotropie, 3D, etc.)
- Aufklärung und Optimierung des Abbildungs- und Kontrastmechanismus
- Nutzung anderer Wellenarten (Rayleigh-, Transversal-, Lamb-, Scholte-Wellen)
- Quantitative GIUM-Mikroskopie (Abbildung effektiver elastischer Moduln)



18/19



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!
Fragen?